

Rec'd PCT/FR 23 SEP 2004



PCT/FR 03/00987
REC'D 23 JUN 2003
WIPO PCT

10/508834

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 14 AVR. 2003

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

BEST AVAILABLE COPY



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

REMISE DES PIÈCES DATE 29 MARS 2002 LIEU 75 INPI PARIS F N° D'ENREGISTREMENT 0204074 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 29 MARS 2002		2 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE Laurent LUCAS THALES Intellectual Property 13, avenue du Président Salvador Allende 94117 ARCUEIL CEDEX	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 62779			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input checked="" type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie 1245 du 29.03.02.			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date ____/____/____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) DISPOSITIF DE MESURE DE L'EMISSION DE RAYONS X PRODUITE PAR UN OBJET SOUMIS A UN FAISCEAU D'ELECTRONS.			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		CAMECA	
Prénoms			
Forme juridique		Société par Action Simplifiée	
N° SIREN		5 . 5 . 2 . 0 . 3 . 7 . 4 . 2 . 6	
Code APE-NAF			
Adresse		103, boulevard Saint-Denis	
Rue			
Code postal et ville		92403 COURBEVOIE	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE **29 MARS 2002**

LIEU **75 INPI PARIS F**

N° D'ENREGISTREMENT

0204074

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DB 540 VI / 260899

Vos références pour ce dossier :
(facultatif)

62779

☒ **MANDATAIRE**

Nom

LUCAS

Prénom

Laurent

Cabinet ou Société

THALES Intellectual Property

N° de pouvoir permanent et/ou
de lien contractuel

8235

Adresse

Rue

13, avenue du Président Salvador Allende

Code postal et ville

94117

ARCUEIL

N° de téléphone (facultatif)

01 41 48 45 41

N° de télécopie (facultatif)

01 41 48 45 01

Adresse électronique (facultatif)

☒ **INVENTEUR (S)**

Les inventeurs sont les demandeurs

☐ Oui

☒ Non

Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée

☒ **RAPPORT DE RECHERCHE**

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Établissement immédiat
ou établissement différé

☒

☐

Paiement échelonné de la redevance

Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques

☐ Oui

☒ Non

☒ **RÉDUCTION DU TAUX
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)

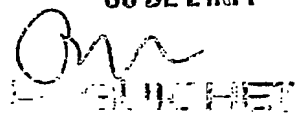
☐ Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,
indiquez le nombre de pages jointes.

☒ **SIGNATURE DU DEMANDEUR
OU DU MANDATAIRE**
(Nom et qualité du signataire)



**VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI**


BOUCHET

La présente invention porte sur un dispositif de mesure de l'émission de rayons X produite par un objet soumis à un faisceau d'électrons. Elle concerne notamment la réalisation d'un dispositif permettant de contrôler la qualité de fabrication de circuits intégrés réalisés sur des tranches de silicium encore appelées "Wafers" dans la littérature anglo-saxonne. Le dispositif est destiné à effectuer des mesures de composition et d'épaisseur sur les structures conductrices et diélectriques constituant ces circuits intégrés. Le dispositif est également destiné à optimiser le temps d'analyse d'un wafer en sortie de fabrication.

10 Ce dispositif est notamment destiné à équiper des chaînes de fabrication de circuits intégrés.

Le besoin de pouvoir caractériser de manière quantitative des structures très fines, enfouies dans les premiers nanomètres des matériaux solides de type semi-conducteurs par exemple, ne cesse de croître au fil des années. C'est notamment le cas dans le domaine de la microélectronique. L'augmentation de la célérité des circuits électroniques est liée aux besoins du marché. Cet accroissement de la célérité passe par la réduction de la taille de ces circuits et donc des éléments de structure qui constituent les transistors

20

Ainsi, la taille minimum de ces transistors est passée de $2\mu\text{m}$ en 1980 à 180nm aujourd'hui. L'objectif visé est la mise en service de transistors ayant des tailles de 130nm et 100nm dans les années à venir et de 50nm par la suite.

25 La réalisation de tels transistors sub-microniques, implique de maîtriser les étapes de formation de structures très fines, dont l'épaisseur n'excède par exemple pas 50nm. Deux étapes de fabrication sont notamment très importantes :

- l'implantation ionique des porteurs de charges qui peut être réalisée sur une épaisseur n'excédant pas d'ores et déjà quelques nanomètres avant activation.

30

- le recouvrement du transistor par un matériau diélectrique de grille, sous forme d'une couche de matériau dont l'épaisseur est désormais parfois inférieure au nanomètre.

Des épaisseurs de cet ordre représentent des quantités d'atomes typiquement comprises entre 10^{13} et 10^{16} atomes par cm^2 .

Face aux difficultés de réalisation, les fabricants de semi-conducteurs sont à la recherche de dispositifs industriels d'analyse, capables de caractériser de manière fiable les structures sub-microniques réalisées. Ces dispositifs doivent être suffisamment sensibles et précis pour pouvoir quantifier et contrôler avec exactitude, typiquement à 1% près, les caractéristiques de composition et d'épaisseur des structures fabriquées. Ces dispositifs doivent également avoir une résolution suffisante pour permettre un contrôle analytique sur des zones très petites, dédiées à ces tests et situées en bordure des puces électroniques. La taille des zones de test est typiquement de l'ordre $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$. Ces dispositifs doivent en outre établir des diagnostics, dans des temps compatibles des contraintes liées à l'environnement de production. Ces temps sont par exemple de l'ordre de quelques minutes pour l'inspection d'un wafer.

Les structures élaborées devenant de plus en plus fines, leur contrôle nécessite de pouvoir réaliser des mesures de plus en plus précises. En regard des ordres de grandeur des mesures à effectuer, les dispositifs actuellement disponibles sur le marché sont inappropriés et affichent des performances insuffisantes. Ce manque de performance touche plusieurs aspects, depuis le manque de précision dans les résultats quantitatifs jusqu'au manque pur et simple de sensibilité.

Un but de l'invention est notamment de répondre aux exigences citées dans ce qui précède. A cet effet l'invention a pour objet un dispositif de mesure de l'émission de rayons X, produite par un objet soumis à un faisceau d'électrons. Ce dispositif comporte principalement :

- Des moyens d'émission d'électrons;
- Un étage d'accélération dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel ΔV_1 ;
- Un espace sans champ électrique dans lequel le faisceau d'électrons est mis en forme et contrôlé

Un étage de freinage dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel ΔV_2 de signe opposé à ΔV_1 ;

Un support permettant de positionner l'objet sous le faisceau d'électrons;

5 Des moyens d'analyse spectrale des rayonnements X émis par l'objet analysé;

Ce dispositif présente l'avantage d'émettre un faisceau d'électrons de faible dimension, compatible avec les contraintes de résolution citées
10 précédemment.

Le faisceau d'électron présente peu de dispersion ce qui assure une bonne précision d'éclairement.

15 La profondeur de pénétration du faisceau d'électrons à l'intérieur du matériau à analyser est réglable et permet avantageusement d'obtenir une sensibilité compatible avec les contraintes liées à la finesse des couches analysées.

L'intensité du courant d'électrons produit permet également d'accroître la
20 sensibilité du dispositif.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit, faite en regard des figures annexées qui
25 représentent :

La figure 1, une représentation schématique du dispositif.

La figure 2, une représentation schématique du trajet du faisceau d'électrons.

La figure 3, une illustration de l'action du champ retardateur sur
30 un faisceau d'électrons.

La figure 4, une architecture possible d'un système d'automatisation du dispositif.

Le dispositif selon l'invention est représenté sur la figure 1. Il comporte
35 principalement un sous-ensemble appelé colonne électronique, destiné à

l'émission, à la formation et au pilotage du faisceau d'électrons, un sous-ensemble réalisant l'analyse spectrale des émissions de rayons X caractéristiques de l'objet analysé et un support d'échantillon 12 sur lequel est placé l'échantillon 11 à analyser. Il comporte également un sous-ensemble optique permettant la visualisation de l'échantillon 11. D'autres sous-ensembles peuvent être intégrés au dispositif, pour réaliser des fonctions annexes ou complémentaires comme notamment des moyens de commande automatique ou encore des moyens permettant de modifier la position de l'échantillon par rapport au faisceau. L'ensemble du dispositif est placé dans une enceinte, non représentée sur la figure, dans lequel règne un vide plus ou moins poussé selon les besoins.

La colonne électronique comporte plusieurs parties, chaque partie comportant elle-même plusieurs éléments.

Le sous-ensemble 13 destiné à l'émission et à l'accélération du faisceau d'électrons est l'élément de la colonne situé le plus en amont. Il comporte notamment une source d'électrons portée à un potentiel HV1 et un étage d'accélération des électrons.

La source électronique peut être de nature diverse, notamment une Source froide à effet de champ, une source Schottky à cathode ponctuelle ou encore une source à cathode thermoémissive. Le potentiel HV1 est appliqué à la source au moyen d'un générateur 14.

Au niveau de l'étage d'accélération les électrons sont soumis à une différence de potentiel $\Delta V1$ égale par exemple à la tension délivrée par le générateur 14. Cette différence de potentiel est telle qu'elle crée un champ électrique qui accélère les électrons émis par la source.

Les électrons ainsi accélérés quittent le sous-ensemble émission 13 et abordent un espace soumis à un champ électrique sensiblement nul, dans lequel ils conservent une énergie pratiquement constante. Dans cet espace sans champ se forme et se propage le faisceau d'électrons. Cet espace sans champ comporte lui-même plusieurs zones.

Une première zone 15 de formation du faisceau est située immédiatement en aval du dispositif d'émission. Cette zone est entourée

d'une enceinte 16 métallisée intérieurement qui peut par exemple prendre la forme d'un tube. Cette enceinte est portée au potentiel de référence 1111 du générateur 14. Le potentiel de référence peut par exemple être la masse de l'ensemble du dispositif selon l'invention.

5

Autour de l'enceinte 16, juste en aval de la source, sont disposés des éléments déviateurs 17, par exemple magnétiques, dont le rôle est d'ajuster la position ou la direction du faisceau d'électrons.

10 Autour de l'enceinte 16 est également disposée une lentille magnétique 18 qui permet de donner au faisceau d'électrons une forme tubulaire, non focalisé, dans lequel les électrons suivent des trajectoires parallèles.

15 A la sortie de l'enceinte 16 est positionné un diaphragme 19 dont le rôle consiste à limiter le diamètre du faisceau d'électrons. Cette limitation du diamètre du faisceau a notamment pour rôle de faire en sorte que le diamètre du faisceau qui attaque le plan de l'échantillon ne dépasse pas la valeur maximum voulue. Ce diamètre maximum est par exemple celui requis
20 par la résolution spectrale des spectromètres ou bien la résolution spatiale nécessaire pour la mesure.

Ce diaphragme peut être un élément unique avec une ouverture de diamètre fixe. Il peut également être constitué d'un ensemble de diaphragmes commutables ayant des diamètres d'ouverture différents.

25 La commutation de diaphragmes de diamètres différents est un moyen avantageux qui permet de faire varier l'intensité du faisceau sans modifier les caractéristiques de la source d'électrons.

L'espace sans champ électrique comporte une deuxième zone 110 de
30 mesure du courant d'électrons. Cette zone est par exemple située en aval du diaphragme. Elle est entourée d'une enceinte conductrice 111 portée comme l'enceinte 16 au potentiel de référence du générateur 14.

A l'intérieur de l'enceinte 111, des moyens de déflexion 112 sont disposés
35 autour du faisceau. Ces moyens de déflexion sont destinés à dévier le

faisceau de son trajet normal vers l'échantillon à analyser. Le faisceau ainsi dévié est dirigé vers un dispositif 113 qui mesure la densité du flux d'électrons. Ce dispositif capteur d'électrons, de type puits de Faraday par exemple, est également positionné dans l'enceinte 111 et isolé

5 électriquement.

Les moyens de déflexion 112, qui peuvent par exemple être des bobines magnétiques ou des plaques électrostatiques, sont mis en service périodiquement. Ceci permet avantageusement d'effectuer une mesure périodique du courant d'électrons. Le choix des moyens de déflexion utilisés

10 est fonction de la rapidité et de la cadence de mesure souhaitées. Pour actionner ces moyens de déflexion, l'invention comporte également un dispositif de commande ayant des temps très courts de mise en et hors service. Ce dispositif, non représenté sur la figure, permet de défléchir périodiquement le faisceau pendant de courts instants et d'effectuer des

15 mesures de courant en cours d'utilisation du faisceau. Ainsi avec des temps de commutation inférieurs, par exemple, à la microseconde on peut effectuer une mesure d'une milliseconde tous les dixièmes de seconde. On obtient alors une mesure par échantillonnage de l'intensité du faisceau. L'expérience montre que si l'on procède à une mesure de l'intensité pendant 1% du temps,

20 la mesure est réalisée avec une précision suffisante et laisse le faisceau disponible pour l'analyse pendant 99% du temps.

L'enceinte 111 renferme les moyens de mesure du courant d'électrons : Il y a donc avantage à la placer, en aval de tout élément destiné

25 à limiter la taille du faisceau, comme par exemple un diaphragme. Ainsi, le courant de faisceau mesuré est le même que le courant de faisceau qui atteint l'échantillon.

L'espace sans champ électrique comporte une troisième zone 114 de

30 focalisation du faisceau. Cette zone est par exemple située en aval de la zone 110 décrite précédemment. Cette zone est entourée d'une enceinte conductrice 115 qui entoure le faisceau et qui est portée comme les enceintes 116 et 111, au potentiel de référence du générateur 14.

Autour de l'enceinte 115 est disposée une lentille magnétique 116 dont le rôle est de focaliser le faisceau d'électrons sur un point de la surface de l'échantillon à analyser. Cette lentille peut être considérée, par analogie optique, comme l'objectif du système.

5

Entre la lentille 116 et l'enceinte 115 entourant le faisceau, il est possible de disposer des défecteurs. Ces dispositifs défecteurs 117 pourront servir à positionner ou à déplacer le faisceau sur l'échantillon pour effectuer un balayage.

10

Dès sa sortie de l'enceinte 115 le faisceau quitte l'espace sans champ électrique et aborde le voisinage de l'échantillon à analyser avec une énergie sensiblement identique à leur énergie initiale.

15

En aval de l'enceinte 115, le dispositif selon l'invention comporte une plaque perforée 118 pouvant être refroidie par exemple grâce à une circulation d'azote liquide. Le refroidissement cette plaque permet notamment d'améliorer, par condensation, la qualité du vide au voisinage de l'échantillon.

20

Après son passage au travers de la plaque 118, le faisceau d'électrons quitte la colonne électronique et termine son parcours en bombardant l'échantillon 11 à analyser.

25

Comme le montre la figure 1, l'échantillon à analyser est posé sur un support 12 qui est un élément conducteur. Par l'intermédiaire d'un générateur 119, l'échantillon est porté à un potentiel HV2 de même signe que le potentiel HV1. Le potentiel de référence du générateur 119 est relié à celui du générateur 14. De cette façon, la tension $\Delta V2$ appliquée entre l'échantillon

30

11 et l'enceinte 115 est de même signe que la tension $\Delta V1$ appliquée au dispositif d'émission d'électrons.

35

Dès sa sortie de l'espace sans champ électrique et juste avant la zone d'impacte avec l'échantillon, le faisceau d'électrons se trouve donc soumis à un champ électrique retardateur dont l'action va consister à freiner les électrons et donc à diminuer leur énergie. Le réglage de la différence de

potentiel HV1 – HV2 entre la source d'électrons 13 et l'échantillon 11 est par exemple réalisé en jouant sur la valeur de la tension ΔV_2 . On peut ainsi choisir de faire varier la valeur du freinage auquel sont soumis les électrons en jouant simplement sur la valeur de ΔV_2 .

- 5 Il est donc avantageusement possible, en faisant varier la valeur de la différence de potentiel HV1 – HV2, de régler la valeur de l'énergie d'impact du faisceau d'électrons sur l'échantillon et donc sa profondeur de pénétration.

- 10 Un autre avantage lié à la création du champ retardateur après la dernière lentille de focalisation est l'augmentation considérable de la densité de courant d'électrons qui en résulte. L'augmentation de la densité de courant d'électrons a pour avantage d'accroître la sensibilité du dispositif. Cette augmentation de la densité de courant d'électrons provient de la
15 limitation de la taille de la zone d'aberration du faisceau. La zone d'aberration est créée par le passage du faisceau à travers la lentille 116.

- La plaque 118 peut également être conductrice et comporter une électrode permettant de la mettre à un potentiel qui peut par exemple varier
20 entre la masse et le potentiel HV2 de l'échantillon 11. Si l'on porte par exemple la plaque 118 au potentiel HV2, la zone située entre cette plaque et l'échantillon devient également une zone sans champ électrique. Ceci permet avantageusement d'éviter qu'il ne se crée un flux d'ions susceptible d'éroder la surface de l'échantillon au cours de l'analyse. Une telle érosion
25 aurait pour conséquence de fausser les résultats.

- L'échantillon 11 à analyser est placé sur le support 12 à l'intérieur d'une enceinte 1112, ou chambre objet, perméable aux rayons X. Le support est par exemple susceptible de se déplacer, de façon à permettre un
30 positionnement optimal de l'objet à analyser sous le faisceau d'électrons. La chambre objet 1112, où est logé l'échantillon, est elle-même placée sous un vide sec et poussé, de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-8} Torr. Ce vide est par exemple réalisé par l'utilisation d'une pompe turbo-moléculaire assistée d'un sublimateur de titane.

Une micro-fuite est placée au-dessus de l'échantillon. Son rôle est de permettre d'injecter dans certains cas un gaz quelconque et de dégrader localement le vide. Ceci favorise l'élimination des charges électrostatiques et d'éventuels éléments contaminant résiduels pouvant être piégés à la surface de l'échantillon.

Pour caractériser l'émission de rayons X caractéristiques de l'échantillon analysé, le dispositif selon l'invention comporte des moyens 1113 d'analyse spectrale. Ces moyens sont par exemple des spectromètres 10 détecteurs de rayons X, de type WDS, connus par ailleurs. La figure 1 présente à titre d'exemple des détecteurs disposés dans la zone 114 de l'espace sans champ de façon inclinée autour de l'enceinte 115. La base de ces détecteurs est incorporée dans la lentille magnétique 116.

15 Le dispositif selon l'invention comporte également des moyens optiques permettant d'observer l'échantillon. Grâce à cette observation il est par exemple possible de déterminer le positionnement convenable en hauteur de l'échantillon, de façon à toujours disposer du meilleur rendement des spectromètres 1113. Ces moyens optiques comportent notamment un 20 objectif catadioptrique 1114, un miroir de renvoi 1115, percé pour permettre le passage du faisceau d'électrons et une optique externe 1116.

La figure 2 du document présente de façon schématique, par analogie optique, l'aspect du faisceau d'électrons créé par le dispositif selon 25 l'invention. Sur ce schéma les lentilles électromagnétiques 18 et 116 de la figure 1 sont représentées par leurs équivalents optiques 22 et 23. Ces 2 lentilles forment un système afocal à l'intérieur duquel le faisceau est quasi parallèle. Le faisceau ainsi créé ne présente pas de zone de cross-over et a l'avantage de présenter moins d'aberrations dues aux interactions entre 30 électrons. Ce phénomène d'aberration du faisceau, consécutif aux interactions entre électrons, est connu par ailleurs sous le nom d'effet BOERSCH.

Les distances relatives des différents éléments sont choisies en fonction de la taille du faisceau que l'on souhaite obtenir au plan de 35 l'échantillon à analyser.

Si par exemple, la distance entre la source 21 et la lentille 22 est 4 fois plus grande que la distance entre la lentille 22 et la lentille 23, le système optique génère sur l'échantillon une image 24 de la source, réduite d'un facteur 4.

Ainsi, si la source réelle représentée par la source idéale 21 a un diamètre
5 typique de 60µm, l'image de cette source formée au plan de l'échantillon sera d'environ 15µm.

La figure 3 du document explique de façon imagée l'action du champ retardateur sur un faisceau d'électrons. La figure représente le trajet au
10 travers d'une lentille d'un faisceau d'électrons issu d'une source ponctuelle et son image 31, ou spot, sur un plan 35. Sur l'illustration de gauche le faisceau 33 n'est soumis à aucun champ retardateur alors que sur l'illustration de droite un tel champ est appliqué au faisceau 34.

15 Il est connu que dans un système d'optique électronique, tant qu'on suppose que les aberrations des lentilles sont négligeables par rapport au diamètre du spot 31 considéré, la densité de courant du spot est donnée par :

$$J \text{ (A/cm}^2\text{)} = \beta \cdot \pi \cdot \alpha^2 \quad (1)$$

20

où α est le demi-angle d'ouverture du faisceau et β la brillance du faisceau. β ne dépend en première approximation que de la source d'électrons caractérisée par β_0 et de l'énergie que porte ces électrons qui est définie par le potentiel d'accélération V . On peut écrire :

25

$$\beta = \beta_0 \cdot V \quad (2)$$

Pour avoir une densité de courant maximum, on est donc amené à travailler avec la demi-ouverture α la plus grande possible, en utilisant la
30 lentille 32 sur la totalité de sa section. Ceci a notamment pour conséquence que, vis à vis de la lentille, le diamètre du faisceau 33 n'est alors plus égal au diamètre gaussien D_0 , pour lequel la traversée de la lentille se fait sans aberration. Il est égal à un diamètre réel D_a déterminé par les aberrations du système optique. La densité de courant d'un spot est alors donnée par :

35

$$J \text{ (A/cm}^2\text{)} = \beta \cdot \pi \cdot \alpha^2 \cdot (D_0/D_a)^2 \quad (3)$$

En première approximation les aberrations sphériques et chromatiques dépendent de la fraction de la section de la lentille objectif 116 qui est traversée par le faisceau. β ne dépend, quant à lui, que de l'énergie d'impact caractérisée par V . Dans les deux cas illustrés, l'énergie d'impact d'un électron E_0 est la même. Elle est donnée par :

$$E_0 = e.V \quad (4).$$

Où e représente le module de la charge de l'électron et V la différence de potentiel à laquelle est soumis l'électron.

Dans le cas de la figure de gauche, il n'y a pas de champ retardateur entre la lentille 32 et le plan 35 : l'énergie des électrons est égale à E_0 sur tout le parcours. Dans le cas de la figure de droite en revanche, il existe un champ retardateur dont la présence va accroître l'énergie des électrons avant la lentille. Cet accroissement d'énergie va se traduire par une diminution de la taille du faisceau, la demi-ouverture α du faisceau 34 après la lentille restant par ailleurs identique.

D'après la loi de la brillance, les courants électroniques seront identiques, alors que la section de la lentille 32 traversée par le faisceau 34 est, dans le second cas, beaucoup plus réduite. Le diamètre de la zone d'aberration se trouve donc lui aussi réduit, ce qui conduit avantageusement à obtenir une densité de courant beaucoup plus élevée.

Si on considère par exemple des électrons dont l'énergie de 500eV est portée, grâce au champ retardateur, à 5000eV avant la lentille, la densité de courant obtenue est 4 fois plus élevée que dans le cas où les électrons sont véhiculés, sans champ retardateur, avec une énergie de 500eV tout au long du parcours.

Outre les éléments fonctionnels décrits précédemment, le dispositif selon l'invention peut comporter un sous-ensemble, par exemple électronique, dont le rôle est d'automatiser l'ensemble des commandes servant au pilotage des divers éléments que comporte le dispositif.

La figure 4 présente une architecture possible pour un tel sous-ensemble. Le sous-ensemble présenté est composé de deux éléments, une interface 41 et un ordinateur 42.

5

L'interface comporte par exemple des cartes électroniques ayant chacune pour fonction de piloter une des grandes fonctions du dispositif. Ainsi on trouve :

- 10 - une carte électronique 43 chargée du contrôle des mouvements de l'échantillon à analyser,
- une carte électronique 44 contrôlant les différents éléments de la colonne électronique,
- une carte électronique 45 chargée de la mise en œuvre des spectromètres,
- 15 - une carte électronique 46 contrôlant la mise sous vide du dispositif.

L'interface communique avec le ordinateur 42 via une carte électronique serveur 47 qui interprète les ordres envoyés par le ordinateur.

20

Le ordinateur est une station de travail utilisateur, par exemple un PC fonctionnant dans un environnement Windows. Il est équipé d'une interface homme-machine graphique qui permet à l'opérateur d'accéder notamment à un contrôle interactif 48 du dispositif ainsi qu'à une gestion 49 des séquences automatiques d'analyse.

25

Le dispositif selon l'invention est associé à un protocole analytique menant à l'obtention de résultats quantitatifs quant à la composition élémentaire de l'échantillon. Ce protocole consiste à effectuer des mesures d'intensité du rayonnement X caractéristique des éléments présents dans l'échantillon. Les résultats sont obtenus en faisant varier l'énergie incidente des électrons primaires, puis en interprétant quantitativement ces mesures à l'aide d'un modèle de simulation approprié. L'énergie des électrons primaires est contrôlée par l'application des potentiels convenables sur l'échantillon et la source. Les mesures du courant de faisceau et du flux de photons émis.

30

font l'objet d'une acquisition par le système automatique décrit précédemment.

Les résultats de mesures sont inscrits par le calculateur dans un tableau constitué de N lignes. Chaque ligne du tableau regroupe l'ensemble des données relatives à une mesure. Pour chaque instant de mesure on trouve donc une ligne regroupant les données qui lui sont associées. Ces données sont par exemple l'instant de mesure, l'énergie d'impact des électrons calculée par la différence HV2-HV1, ainsi que la mesure du courant de faisceau mesuré par échantillonnage par le dispositif capteur d'électrons, et l'accumulation des photons X mesurée sur chacun des spectromètres.

Ainsi, il est par exemple possible au cours d'une analyse de faire évoluer de manière manuelle ou automatique, la valeur de l'énergie d'impact du faisceau et d'exploiter les résultats obtenus à l'aide d'un traitement numérique approprié. On peut alors déterminer les attributs essentiels d'une structure particulière de l'échantillon analysé. Ces attributs sont par exemple son épaisseur, la dose intégrée, c'est à dire le nombre d'atomes implantés par unité de surface, ou encore la distribution en profondeur associée à l'élément mesuré.

20

Les mesures élémentaires effectuées ici peuvent bien évidemment être reproduites sur tous les points de test d'une structure de type wafer. L'automatisation permet alors avantageusement d'effectuer sans intervention manuelle et de manière précise l'analyse complète d'un wafer.

25

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure de l'émission de rayons X produite par un objet soumis à un faisceau d'électrons, caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- 5 - Des moyens d'émission d'électrons;
 - Un étage d'accélération dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel ΔV_1 ;
 - Un espace sans champ électrique dans lequel le faisceau d'électrons est mis en forme et contrôlé;
 - 10 - Un étage de freinage dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel ΔV_2 de signe opposé à ΔV_1 .
 - Un support permettant de positionner l'objet sous le faisceau d'électrons ;
 - des moyens d'analyse spectrale des rayonnements X émis
 - 15 par l'objet analysé;

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les différences de potentiel ΔV_1 et ΔV_2 sont appliquées à l'aide de deux générateurs (14 et 119) dont les potentiels de référence sont reliés entre eux, le premier générateur (14) portant la source d'émission d'électron au potentiel HV1 et le deuxième générateur (119) portant l'objet à analyser (11) au potentiel HV2.

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que les potentiels de référence des deux générateurs (14 et 119) sont reliés à la masse du dispositif.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique comporte des enceintes (16, 111, et 115) portées au potentiel de référence des deux générateur (14 et 119).

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure de l'émission de rayons X produite par un objet soumis à un faisceau d'électrons, caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- 5 - Des moyens d'émission d'électrons;
- Un étage d'accélération dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel ΔV_1 ;
- Un espace sans champ électrique dans lequel le faisceau d'électrons est mis en forme et contrôlé;
- 10 - Un étage de freinage dans lequel les électrons sont soumis à une différence de potentiel ΔV_2 de signe opposé à ΔV_1 .
- Un support permettant de positionner l'objet sous le faisceau d'électrons ;
- des moyens d'analyse spectrale des rayonnements X émis par
- 15 l'objet analysé;

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les différences de potentiel ΔV_1 et ΔV_2 sont appliquées à l'aide de deux générateurs (14 et 119) dont les potentiels de référence sont reliés entre eux,

20 le premier générateur (14) portant la source d'émission d'électron au potentiel HV1 et le deuxième générateur (119) portant l'objet à analyser (11) au potentiel HV2.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les

25 potentiels de référence (1111) des deux générateurs (14 et 119) sont reliés à la masse du dispositif.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique comporte des

30 enceintes (16, 111, et 115) portées au potentiel de référence (1111) des deux générateurs (14 et 119).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique renferme au moins des moyens (18 et 116) permettant de former faisceau d'électrons ne présentant pas de zone de cross-over, et de le focaliser.

5

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une électrode (118) placée entre le support d'échantillon et le reste du dispositif, cette électrode pouvant être portée à un potentiel quelconque.

10

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que cette électrode (118) est une plaque perforée, cette plaque pouvant être refroidie.

15

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique renferme des moyens (113) permettant de mesurer l'intensité du courant de faisceau.

9. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens (113) permettant de mesurer l'intensité du courant de faisceau sont associés à des moyens de déviation (112) du faisceau d'électrons, ces moyens de déviation permettant de diriger le faisceau vers les moyens de mesure du courant d'électrons.

25

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 8, caractérisé en ce que les moyens de déviation (112) sont activés par un système électronique rapide permettant d'effectuer la mesure par échantillonnage, en cours d'analyse.

30

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'analyse spectrale (1113) comportent au moins un spectromètre WDS.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une chambre (1112) dont l'atmosphère

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique renferme au moins des moyens (18 et 116) permettant de former faisceau d'électrons ne présentant pas de zone de cross-over, et de le focaliser.

5

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une électrode (118) placée entre le support d'échantillon et le reste du dispositif, cette électrode pouvant être portée à un potentiel quelconque.

10

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que cette électrode (118) est une plaque perforée, cette plaque pouvant être refroidie.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espace sans champ électrique renferme des moyens (113) permettant de mesurer l'intensité du courant de faisceau.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens (113) permettant de mesurer l'intensité du courant de faisceau sont associés à des moyens de déviation (112) du faisceau d'électrons, ces moyens de déviation permettant de diriger le faisceau vers les moyens de mesure du courant d'électrons.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens de déviation (112) sont activés par un système électronique rapide permettant d'effectuer la mesure par échantillonnage, en cours d'analyse.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'analyse spectrale (1113) comportent au moins un spectromètre WDS.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une chambre objet (1112) placée sous un vide sec et poussé.

35

peut être contrôlée en composition et en pression entre un vide primaire et l'ultra vide.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes,
5 caractérisé en ce qu'il comporte des moyens optiques permettant de visualiser l'objet analysé.

14. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que les
moyens optiques comportent au moins une optique catadioptrique (1114)
10 placée au voisinage de l'objet, un miroir de renvoi (1115) percé, et un système optique externe (1116).

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisé en ce qu'il comporte une interface électronique (41) de
15 commande et d'acquisition reliée aux différents éléments du dispositif, permettant le contrôle à distance du dispositif et l'acquisition des données correspondant aux mesures effectuées.

16. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il
20 comporte un ordinateur (42) relié à l'interface électronique (41) et équipée d'une interface homme-machine permettant de contrôler à distance différents éléments du dispositif et d'exploiter de manière automatique les mesures effectuées.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que la chambre objet (1112) comporte une micro-fuite.

5 14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens optiques permettant de visualiser l'objet analysé.

10 15. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que les moyens optiques comportent au moins une optique catadioptrique (1114) placée au voisinage de l'objet, un miroir de renvoi (1115) percé, et un système optique externe (1116).

15 16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une interface électronique (41) de commande et d'acquisition reliée aux différents éléments du dispositif, permettant le contrôle à distance du dispositif et l'acquisition des données correspondant aux mesures effectuées.

20 17. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte un calculateur (42) relié à l'interface électronique (41) et équipée d'une interface homme-machine permettant de contrôler à distance différents éléments du dispositif et d'exploiter de manière automatique les mesures effectuées.

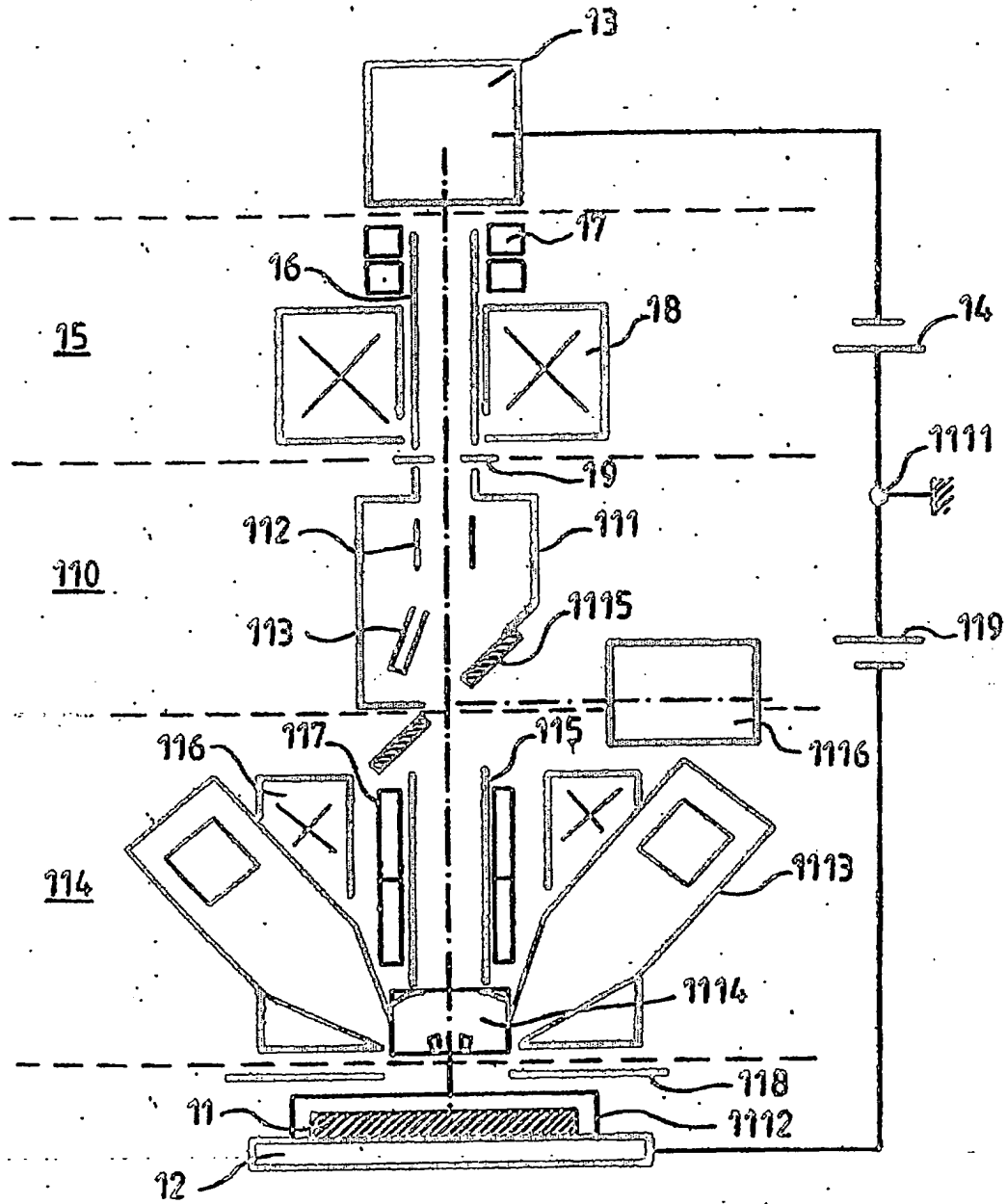


FIG.1

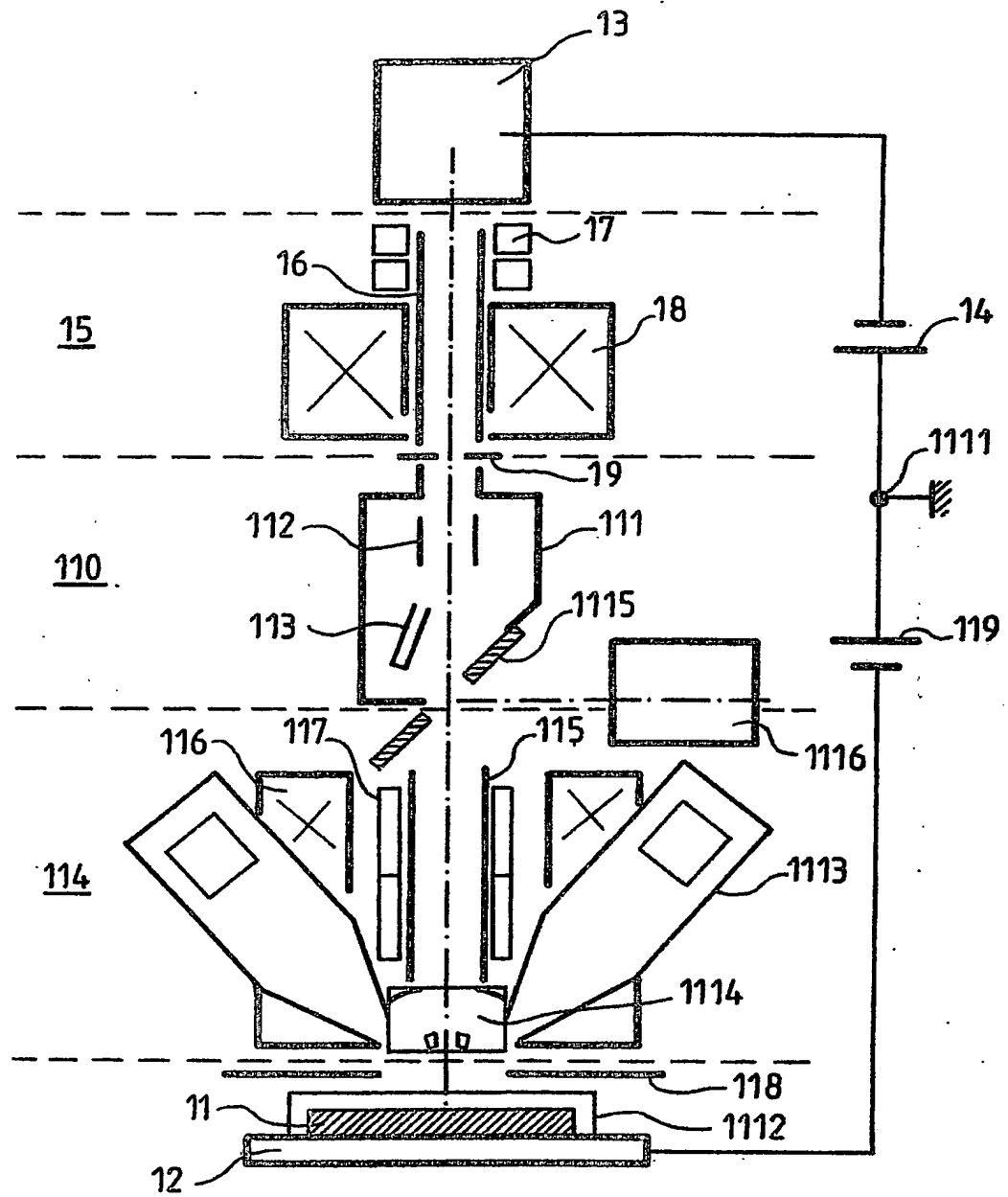


FIG.1

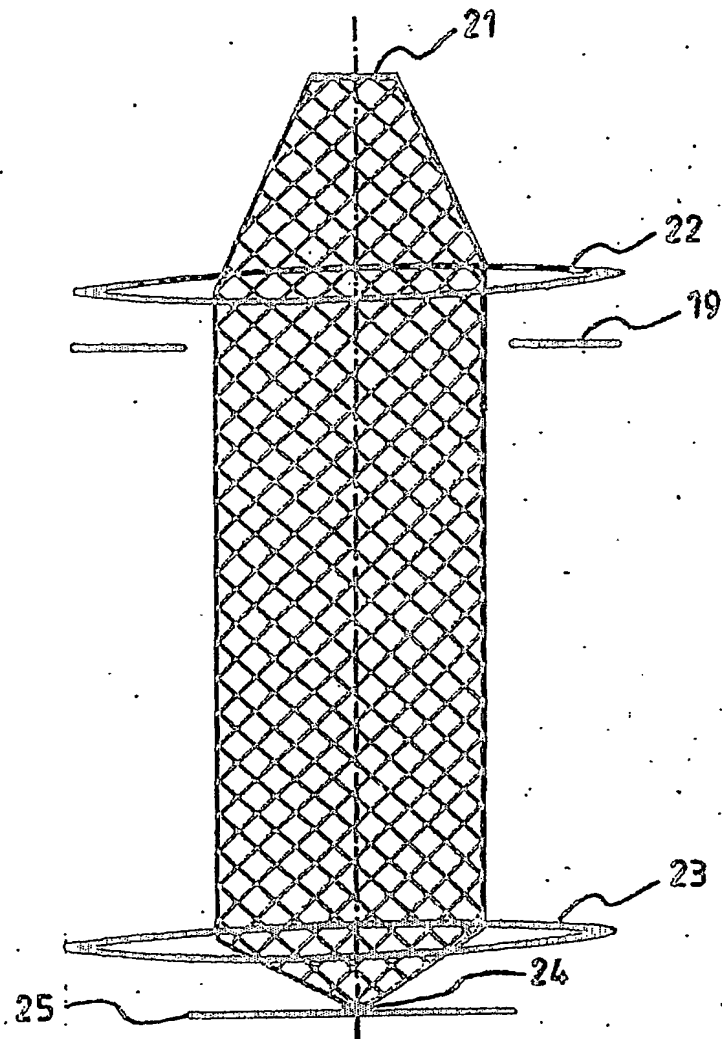


FIG. 2

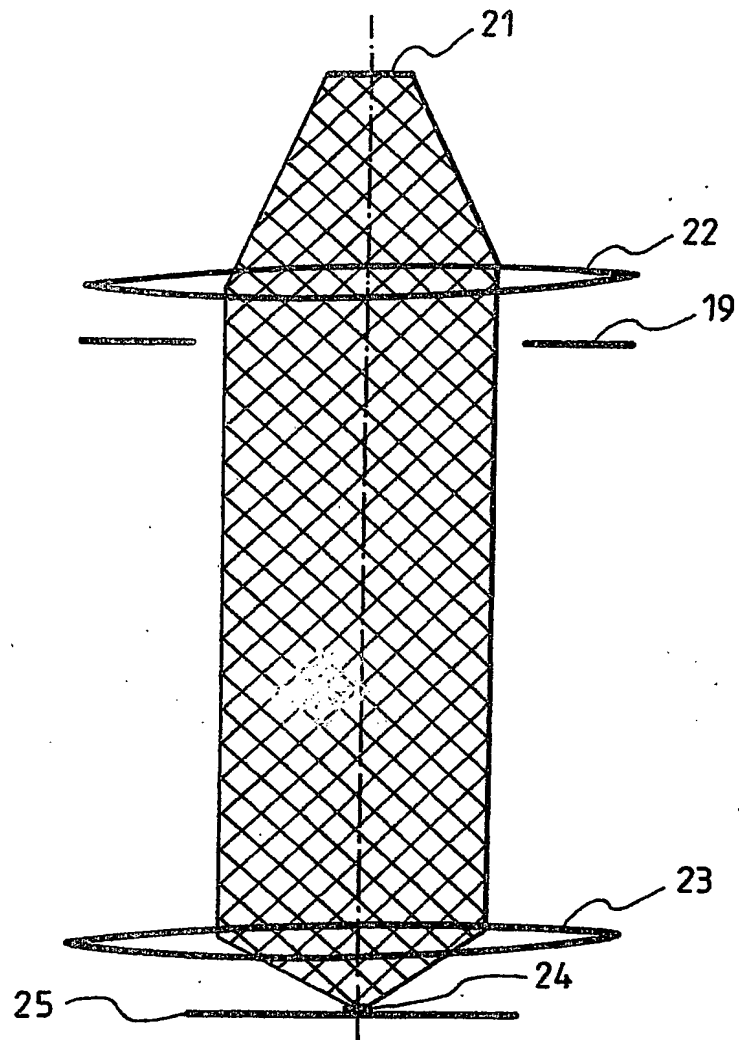


FIG. 2

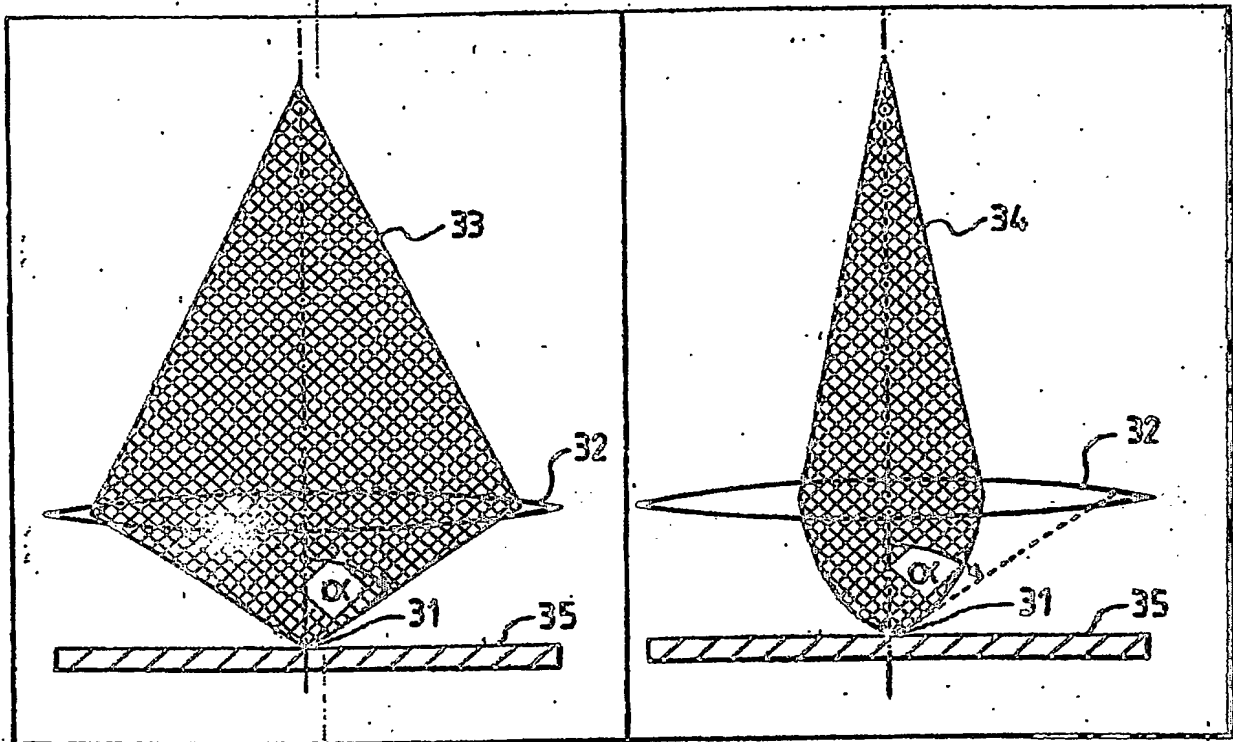


FIG. 3

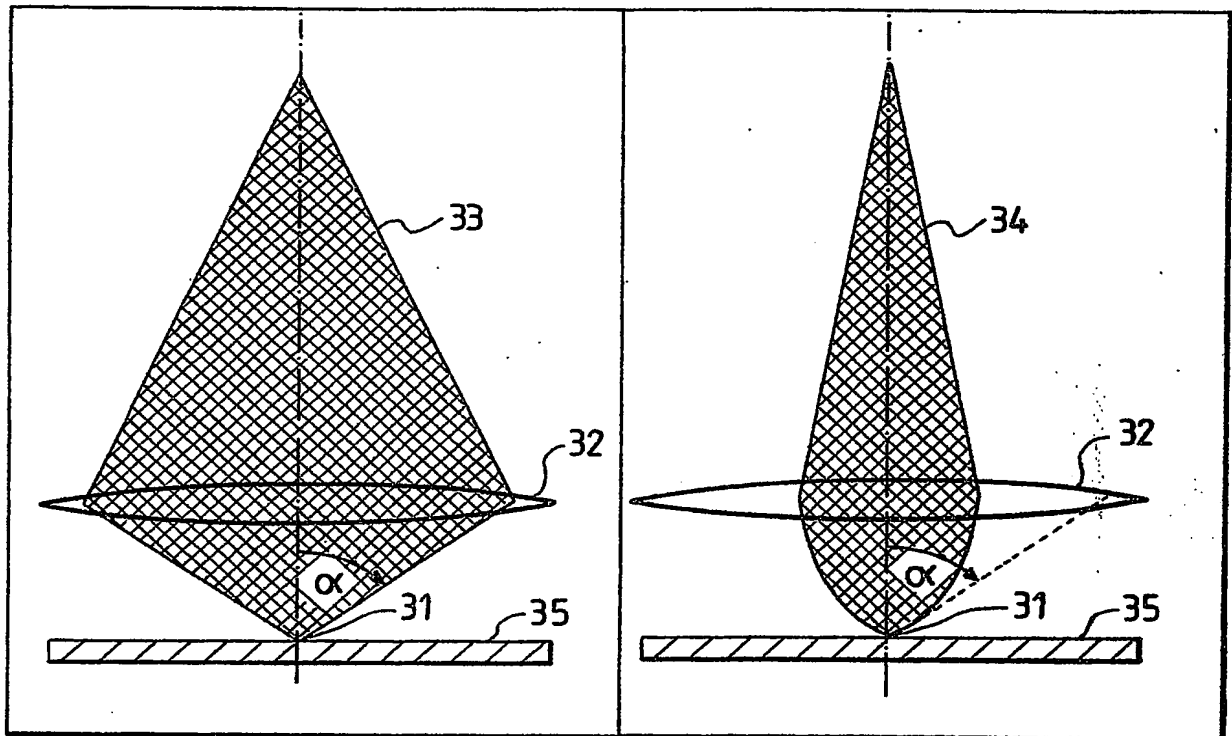


FIG.3

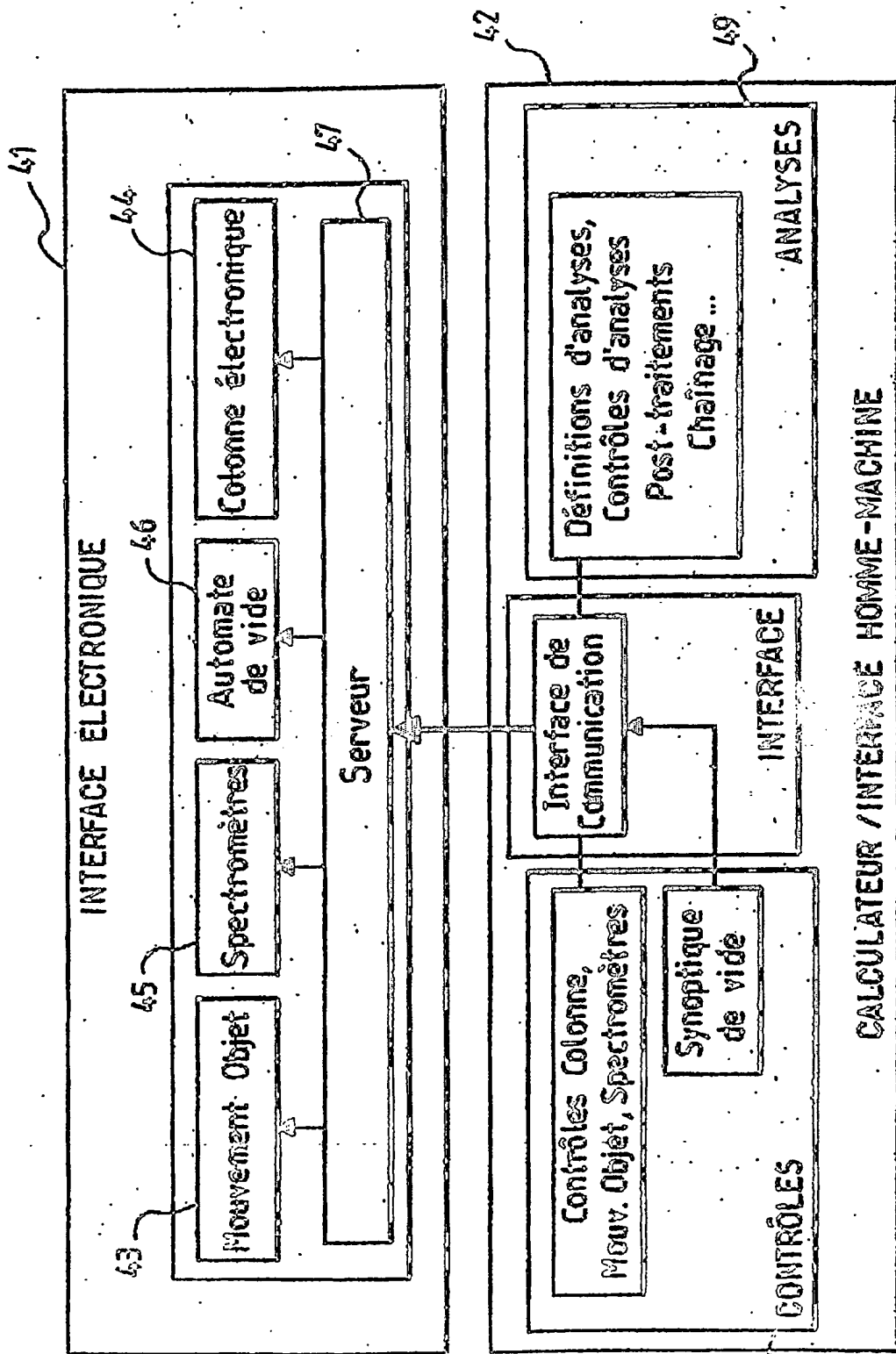


FIG. 4

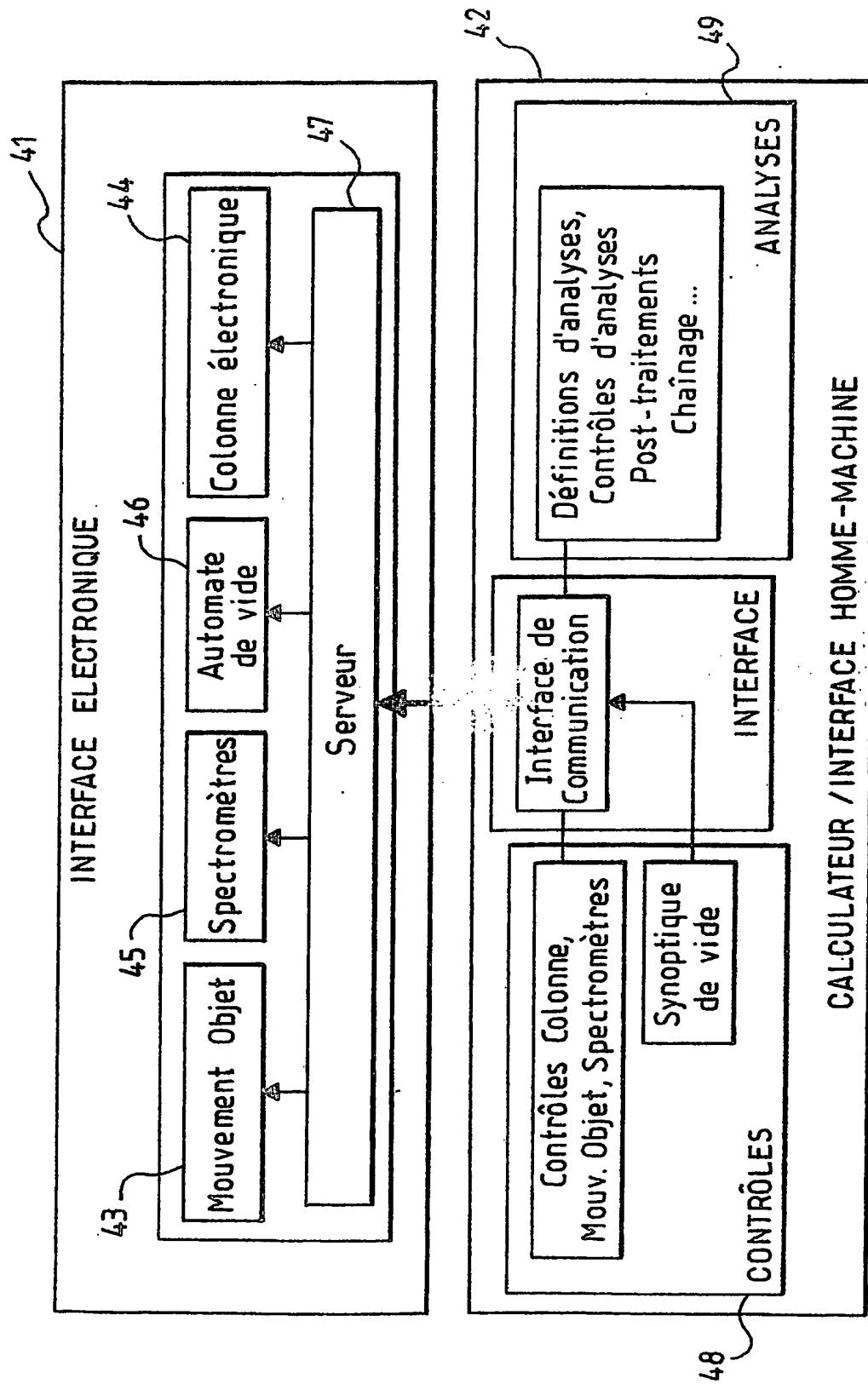


FIG. 4

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235-02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 2..
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 2E0899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		62779	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0206074	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
DISPOSITIF DE MESURE DE L'EMISSION DE RAYONS X PRODUITE PAR UN OBJET SOUMIS A UN FAISCEAU D'ELECTRONS.			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
CAMECA			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		DE CHAMBOST	
Prénoms		Emmanuel	
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		HOMBOURGER	
Prénoms		Chrystel	
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		MONTERO	
Prénoms		Juan	
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE		11	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08


Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2. / 2.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		62 779	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0206074	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
DISPOSITIF DE MESURE DE L'EMISSION DE RAYONS X PRODUITE PAR UN OBJET SOUMIS A UN FAISCEAU D'ELECTRONS.			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
CAMECA			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		MONTSALLUT	
Prénoms		Pierre	
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		STAUB	
Prénoms		Pierre-François	
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		 Laurent LUCAS	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.